



**Instituto Tecnológico de Costa Rica
Escuela de Ingeniería en Electrónica**



**Sistema robótico de selección automática de objetos basado
en las características visuales**

**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero
en Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Esteban Mejía Arce

Cartago, 25 Junio 2007



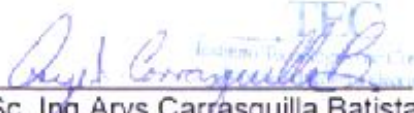
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal


Dr. Ing. Pablo Alvarado Moya


Lic. Ing. Juan Carlos Jiménez Robles


M.Sc. Ing. Arys Carrasquilla Batista
Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Cartago, Costa Rica.
27 Junio 2007

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Costa Rica.
25 Junio 2007

A handwritten signature in dark ink, appearing to read "EMA", is placed over a faint, rectangular yellow stamp. The signature is fluid and cursive.

Esteban Mejía Arce

Céd: 1-1117-07658

Resumen

Este proyecto es una solución basada en investigación y aplicación de la robótica y la visión por computadora. Consiste en el análisis de objetos por medio de sus características visuales y la selección de los mismos para ser ubicado en posiciones establecidas para categorías según esas características, todo esto con un sistema robótico automático. Se pretende mejorar los procesos productivos en los cuales intervenga la selección de objetos de manera repetitiva, convirtiéndolo en un sistema automatizado y con rendimiento constante. Se utilizó para esta aplicación una cámara Webcam, un brazo robótico, la herramienta matemática Matlab y una computadora personal.

Palabras claves: Características visuales, robótica, visión por computadora, Selección de objetos, automatización, imágenes digitales.

Índice general

Capítulo 1: Introducción	8
1.1 Problema existente en la selección de productos agroindustriales y su efecto en la importación nacional	8
1.2 Solución basada en la robótica para mejorar los procesos de selección.....	9
Capítulo 2: Meta y Objetivos	11
2.1 Meta.....	11
2.2 Objetivo general	11
2.3 Objetivos específicos.....	11
Capítulo 3: Marco teórico	12
3.1 Mejoras de diferentes procesos	12
3.2 Antecedentes Bibliográficos.....	12
3.3 Descripción de los principales principios físicos relevantes	12
Capítulo 4: Procedimiento metodológico.....	18
4.1 Reconocimiento del problema a tratar	18
4.2 Evaluación de las alternativas de solución.....	18
4.3 Ejecución de la solución	18
Capítulo 5: Descripción de la solución	19
5.1 Proceso de análisis y acierto de utilizar la visión por computadora como mejor solución 19	
5.2. Recursos de Hardware disponibles y sus características relevantes	19
5.3. Descripción de la solución basada en algoritmos computacionales	20
Capítulo 6: Detalle de los resultados del proyecto, análisis y recomendaciones para las siguientes etapas	35
6.1 Resultados experimentales de las características visuales de los objetos de prueba	35
6.2 Análisis de los resultados obtenidos durante la implementación de la solución	40
Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones para actualizaciones y mejoras.....	41
7.1 Conclusiones.....	41
7.2 Recomendaciones.....	42
Bibliografía.....	44
Apéndices.....	46
A.1 Glosario	46
A.2 Manual de usuario	47

Índice de figuras

Figura 1.1	Diagrama de bloques de solución general.....	10
Figura 3.1	Brazo robot y sus partes.....	14
Figura 3.2	Aplicaciones para la visión por computadora.....	17
Figura 5.1	Diagrama de elementos generales.....	21
Figura 5.2	Diagrama General de bloques de solución general.....	21
Figura 5.3	Diagrama de Interface de usuario.....	22
Figura 5.4	Interface de usuario y control de los procesos.....	22
Figura 5.6	Obtención de la imagen de muestra en la interface de usuario.....	24
Figura 5.7	Diagrama de bloques de los algoritmos del proceso completo.....	25
Figura 5.8	Proceso de separación de imágenes.....	28
Figura 5.9	Muestra del resultado de separación de imágenes.....	29
Figura 5.10	Muestra grafica del método para el cálculo de la forma.....	32
Figura 5.11	Bloques del proceso de comunicación de análisis de imágenes.....	34
Figura 6.1	Característica del color Rojo de los objetos en el espacio HSV.....	36
Figura 6.2	Característica del color Verde de objetos en el espacio HSV.....	37
Figura 6.3	Característica del color Amarillo de objetos en el espacio HSV.....	37
Figura 6.4	Característica del patrón del tamaño de los objetos.....	38
Figura 6.5	Característica del patrón de forma de los objetos.....	38
Figura 6.6	Muestra de los objetos, un cuadro fijo del video obtenido.....	39
Figura 6.7	Muestra de los objetos después de filtrado el ruido.....	39
Figura 6.8	Muestra de los objetos separados en imágenes binarias.....	40
Figura 6.9	Muestra de los objetos separados objeto, imágenes a color.....	40

Índice de tablas

Tabla 1.1	Principales productos de exportación para el año 2006.....	8
-----------	--	---

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente en la selección de productos agroindustriales y su efecto en la importación nacional

La economía de Costa Rica tiene sus bases en el éxito de esfuerzos logrados en el área de la agroindustria, esto se refleja en nuestras exportaciones anuales, unos pocos productos relacionados a este sector productivo representó un 18% de las exportaciones totales en el año 2006, tendencia que no ha variado en los años posteriores.

En la tabla 1.1, se tiene un mercado que involucra el aproximado de 23.2 % de la exportación total para el país, que produjo en ese entonces un ingreso de más de setecientos ochenta millones de dólares.

Tabla 1.1 Principales productos de exportación para el año 2006 [19]

Numero	Subpartida	Descripción	Valor (US\$)	Porcentaje
3	80300	Bananas o plátanos, frescos o secos	312,609,193.00	9.30%
5	80430	Piñas tropicales (ananás), frescas o secas	214,758,869.00	6.40%
6	90111	Café sin tostar y sin descafeinar	116,438,363.00	3.50%
15	80719	Melones frescos	54,871,432.00	1.60%
19	060310	Flores y capullos frescos	34,416,948.00	1.00%
28	071490	Las demás raíces y tubérculos	21,603,089.00	0.60%
24	71410	Raíces de yuca	25,470,038.00	0.80%
Total			780,167,932.00	23.20%

Analizando cada rubro, se deduce una evidente relación en los procesos involucrados, una etapa de selección de productos, ya sea para utilizar la mejor materia prima posible, como es el caso de aceite de palma, o para clasificar la calidad de los productos de exportación basándose en los estándares internacionales. Se tiene en común además que esta clasificación tiene que ver con las características externas del producto, tales como color, apariencia externa de la cáscara, tamaño, diámetro, entre otras.

El principal problema que se atiende con este proyecto es el error en la selección de los productos y la subjetividad de los trabajadores a cargo de esta tarea, la cual es generada por diferentes factores. Por ejemplo el cansancio, desgano, enfermedad visual, etc.

Esto provoca, sin duda alguna, pérdidas monetarias, ya que sea por la poca exactitud en la calidad del producto final, o el error en la calificación de calidad de un embarque para exportación.

Al no haberse hecho un estudio del impacto directo que este problema genera en las diferentes empresas involucradas, no se puede hablar de cifras exactas de un incremento de ganancias, ya que en esto intervienen otros factores, como la competencia, las capacidades de negociación, entre otras. Pero lo que sí se puede afirmar, es que en parte del proceso de producción se reducirán las pérdidas que generaban una errónea elección, ya sea de materia prima o de producto final, y su valoración. Al disminuir estas pérdidas se reducen los costos de operación de las empresas y una mejor calidad, por lo que se le ofrece una margen de ganancia mayor al empresario, ya sea para reducir precio de venta o para tener mayores utilidades, eso depende de la política de las empresas beneficiadas y un cumplimiento de los estándares que los productores nacionales se ven obligados a cumplir para poder exportar.

1.2 Solución basada en la robótica para mejorar los procesos de selección.

Al identificarse el factor humano como un inicio del problema se elimina el mismo en el proceso de selección de objetos. Esta selección se continúa realizando por medio de un análisis automático de las características visuales, tales como tamaño, forma, colores, áreas.

Aunque el ser humano no participe directamente en esta parte del proceso se le brinda la capacidad de tomar decisiones en todo momento; como por ejemplo adecuación de los parámetros de comparación o velocidad del sistema, por ejemplo, lo cual se logra con una interfaz, fácil de utilizar, para que tenga la capacidad de tomar las medidas correctas cuando el algoritmo se vea limitado a hacerlo.

Se opta por utilizar diferentes herramientas tecnológicas que faciliten y optimicen el proceso expuesto anteriormente, se recurrirá por tanto a los siguientes conceptos:

- i. Obtención de imágenes digitales por medio de cámaras de video
- ii. Análisis computacional de imágenes digitales
- iii. Comunicación de los sistemas vía puerto serial y puerto USB
- iv. Traslación de objetos mediante un sistema robótico
- v. Interfaz de operario

Estos procesos se identifican como la base para una solución ordenada, aplicando así la teoría de que se deben identificar procesos pequeños e individuales y que la suma de todos nos permita llegar a una solución adecuada, tal y como se muestra en la figura 1.1.

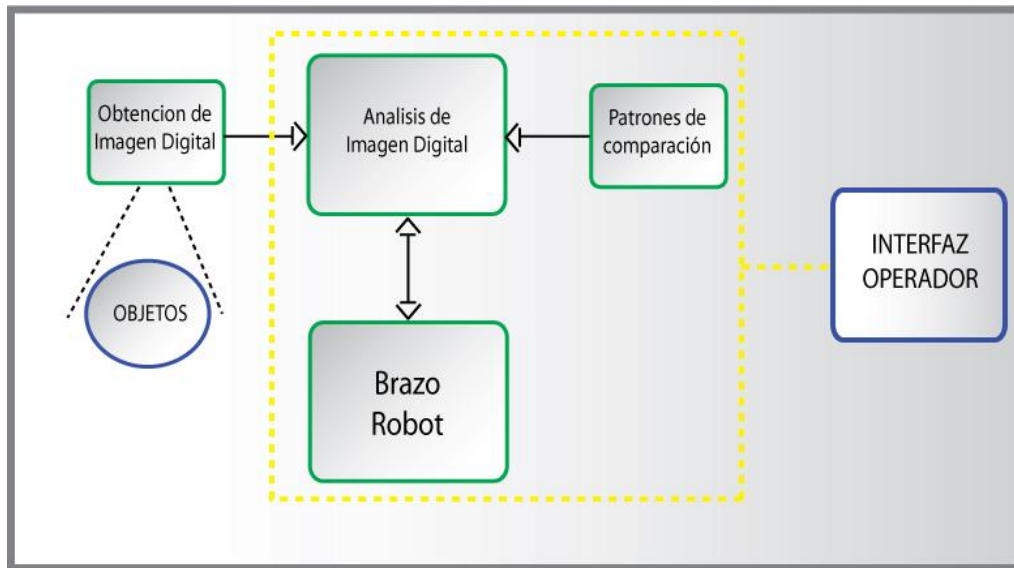


Figura 1.1 Diagrama de bloques de solución general

Estas se ampliarán con mayor detalle durante el desarrollo de este documento, pero cabe destacar algunos requerimientos del sistema:

1. La cantidad de objetos que se analizan por ciclo son 3.
2. Los objetos dentro de una imagen deben ser de diferente color.
3. Los objetos tiene que estar alineados, sin ningún tipo de rotación.

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

Implementar en la industria un sistema robótico con la capacidad de funcionar en el proceso de selección de objetos sin la necesidad de un operario en el puesto de trabajo.

2.2 Objetivo general

Desarrollar un sistema en robótica el cual seleccione objetos de manera automática basándose en las características visuales de los mismos.

2.3 Objetivos específicos

- Diseñar algoritmos que basándose en una imagen digital obtengan la información visual de los objetos.
- Diseñar algoritmos que realicen el movimiento correcto del brazo robot Staubli RX-90 para la tarea de re posicionamiento de objetos.
- Desarrollar un método para que el usuario pueda utilizar la selección de objetos del sistema de una manera sencilla.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Mejoras de diferentes procesos

Se pretende mejorar son todos aquellos sistemas en los cuales intervenga en el proceso productivo una selección de objetos basados en sus características visuales, para citar un ejemplo se tiene el caso de los procesos en la agroindustria en los cuales se selecciona las frutas según su estado de calidad, el cual se evidencia por su tamaño, apariencia y color.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

Se tiene la recopilación hecha en el manual de usuarios del brazo robot, Staubli RX-90, que se utilizó para entender los procesos básicos de control de un sistema robótico.

Además las diferentes maneras de programación del brazo robot se tomo del libro Fundamentos de robótica, del autor Barrientos.

Se baso en el manual de usuarios de la herramienta de programación Matlab, el cual contiene bibliotecas especializadas en la obtención de imágenes digitales y su procesamiento. De esta se tomo los procesos para la conversión de imágenes en los diferentes espacios de color, la comunicación entre sistemas por medio del puerto serie y el reconocimiento de patrones de los objetos.

3.3 Descripción de los principales principios físicos relevantes

3.3.1 Visión [12]

La visión humana es la capacidad de captar la luz de nuestro medio ambiente e interpretarla en formas, colores, texturas, tamaños, distancias, en fin, todas las características visuales del mismo, tal herramienta es indispensable para la mayoría de los seres vivos para su supervivencia. Este complejo proceso, denominado sistema visual, no se ha podido descifrar en toda su capacidad, es decir, los procesos que el cerebro realiza para distinguir entre objetos, reconocerlos y diferenciarlos.

El primer órgano que entra en acción, cuando percibimos nuestro entorno por medio del sentido de la vista, es el ojo, compuesto por más de treinta elementos. La retina recibe la luz la convierte en pulsos eléctricos y esta es llevada hasta el núcleo geniculado lateral y la corteza visual del cerebro donde la información es procesada.

La pupila realiza la misma función que el iris en una cámara de video, es la encargada de regular la cantidad de luz que incide en la retina. Gracias a esta función podemos adaptarnos a diferentes ambientes de niveles de luz sin sufrir pérdida en nuestra capacidad de visibilidad.

3.3.2 Robótica

La robótica se puede definir como sistemas realizados por el hombre que pueden llegar a realizar tareas humanas, desarrollarlas con precisión y ocuparse repetidamente en una labor, además obtener resultados con similares resultados en todas las iteraciones. Este puede ser mecánico o electromecánico, tener inteligencia artificial o ser controlado por un operador [11].

Gracias a los avances en las comunicaciones, desarrollos de software y las capacidades de los microprocesadores se espera que la capacidad de de la robótica se desarrolle de la mano de las investigaciones en inteligencia artificial, la robótica autónoma, la visión artificial y otras paralelas.

Descripción general del brazo robot Staubli RX-90 [6]:

El brazo consiste de segmentos interconectados por articulaciones, donde cada una abarca un eje alrededor del cual dos miembros giran. El brazo está capacitado para realizar diferentes funciones, entre las cuales destaca el manejo de cargas, montajes, procesos cíclicos, etc.

El diseño del robot se compone por la base (a), el hombro (b), el brazo (c), el codo (d), el antebrazo (e) y la muñeca (f) (ver figura 4.1).

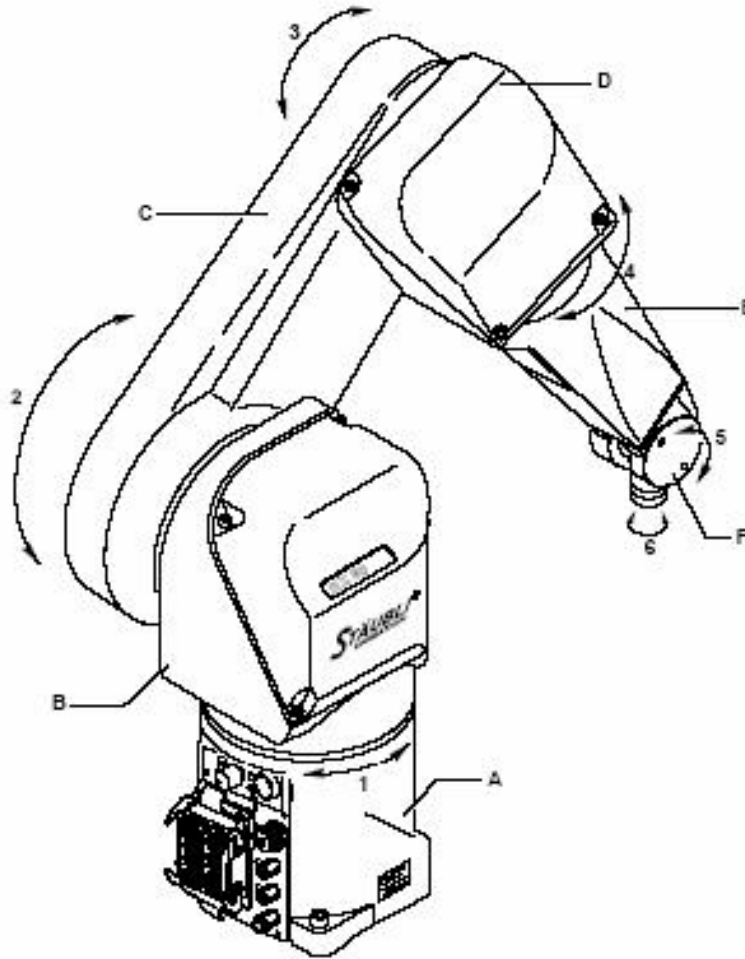


Figura 3.1 Brazo robot y sus partes [6]

Programación de robots [1] [2]:

Para la programación de brazo robot se debe tener en consideración los siguientes aspectos:

- Control cinemático del brazo robot: Establece cuales son las trayectorias que debe seguir cada articulación del brazo para que la herramienta llegue a un punto específico y con una orientación definida. Interviene el estudio del modelo cinemático directo por medio del algoritmo de Denavit-Hartenberg y el estudio de la cinemática indirecta [20].
- Control dinámico del brazo robot: Realiza la tarea de que las trayectorias reales que sigue cada articulación sean lo más parecidas a las trayectorias planteadas por el control cinemático.

- Programación gestual: es en la cual el programador guía físicamente al robot para enseñarle la manera de ejecutar la tarea, el robot guarda las posiciones y movimientos y luego los repite.
- Programación textual: es cuando el programador realiza la descripción de tareas utilizando un lenguaje de programación, los cuales especifican las acciones que el mismo debe tomar.
- Programación implícita: La programación implícita, en la cual el programador especifica, la tarea que se desea resolver a través de algún formalismo, y el sistema genera las instrucciones de robot que resuelven la tarea.

3.3.3 Características de las Imágenes digitales [1] [12]

Una imagen digital es el compuesto de una matriz $m \times n$, donde cada valor representa una intensidad específica de la imagen real.

$$Idigital = \begin{bmatrix} x_1, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_1, y_{n-1} \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot \\ x_{m-1}, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_{m-1}, y_{n-1} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Existen diferentes maneras de representar una imagen de manera digital:

- Imagen digital binaria, es la cual una imagen es representada por medio de 0 lógico y un 1 lógico, y visualmente se obtiene una imagen en blanco y negro, donde el blanco es el 1 lógico y el negro es representado por el 0 lógico.

$$IBinari = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

- Imagen digital en escala de grises, en la cual la imagen se representa por medio de valores entre 0 y 1, por lo que visualmente se tiene una gama de valores que rondan entre el negro y el blanco, tomando los posibles valores de gris. Al igual que se describe en la ecuación 3.2, el cero representa el negro y el 1 el color blanco, pero todos los valores intermedios son la escala de los grises

$$I_{grayScale} = \begin{bmatrix} 0.67 & 1 & 1 & 0.40 \\ 0.66 & 1 & 1 & 0.34 \\ 0.75 & 1 & 0.9 & 0 \\ 0.89 & 1 & 0.01 & 0 \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

- Imagen digital a colores, la imagen se representa, igual que las anteriores, en píxeles, pero con la diferencia que cada píxel está compuesto por tres valores.

Este tipo de imagen utiliza diferentes modelos para representar el color, entre los más destacados están:

- Modelo de color RGB: donde la imagen se representa por medio de tres matrices, la primera representa el color rojo y todos sus diferentes tonos, la segunda representa el color verde y todos sus tonos, y la tercera igual que las anteriores pero para el color azul. Como se sabe estos colores son conocidos como los primarios, ya que a partir de la síntesis aditiva de los mismos se obtienen todos los colores.
- Modelo HSV: Su nombre proviene de las siglas en ingles de Hue, Saturation y Value, que se puede traducir como tonalidad, saturación y valor o brillo del color, respectivamente. El color es representado como la variación de la tonalidad del tipo de color, la variación en su pureza colorimétrica y la cantidad de brillo

3.3.4 Visión por computador [1] [12]

La visión por computadora también es conocida como visión artificial, y el propósito primordial de la misma es, en términos simples, darle la capacidad de ver y analizar el entorno a un sistema, basándose en las capacidades de análisis de imágenes. Por lo general este proceso es hecho mediante software especializado, lo que genera el nombre de esta ciencia.

Las principales etapas de este proceso son los siguientes:

- Obtención de la imagen de muestra.
- Segmentación de los objetos que componen la imagen.
- Reconocimiento de patrones y características.
- Clasificación de los objetos.
- Seguimiento de un objeto en una secuencia de imágenes.
- Búsqueda y comparación de objetos.

Las aplicaciones que se le pueden otorgar a esta herramienta son muy variadas y depende de las necesidades del cliente, pero entre las más destacadas se encuentran:

- a) Seguridad: Reconocimientos de patrones faciales, Video vigilancia.
- b) Control de calidad: Medición y selección de objetos
- c) Control Automático
- d) Ciencias y tecnología: Biología, Matemáticas, Inteligencia Artificial.

Es por lo tanto la aplicación de la visión por computadora una gama amplia de aplicaciones, desde la agricultura hasta la investigación espacial. Recopilamos información para realizar la figura 3.2, que nos ejemplifica gráficamente lo mencionado.

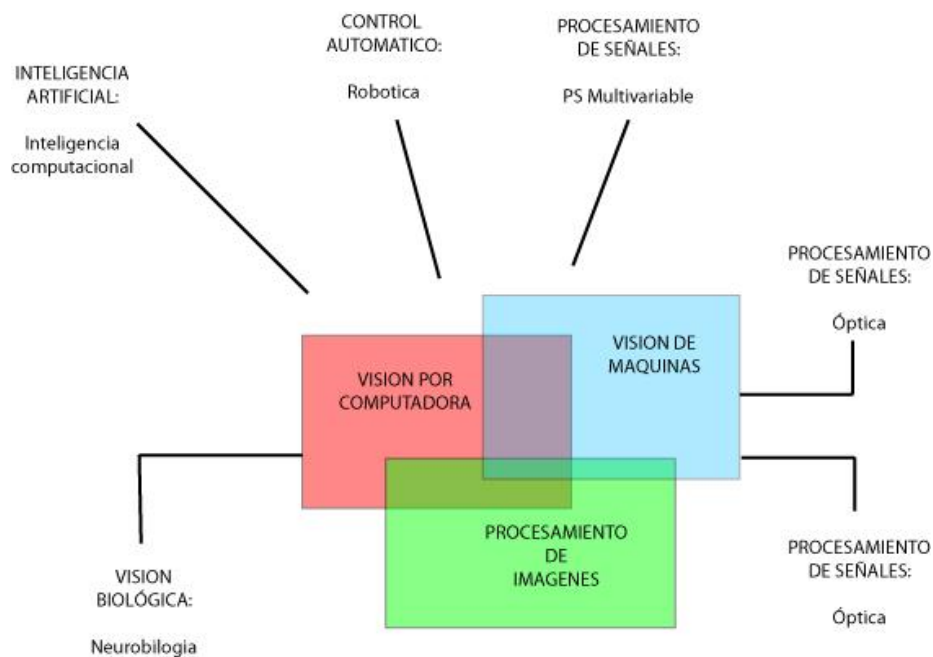


Figura 3.2 Aplicaciones para la visión por computadora

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento del problema a tratar

Se realizó un estudio de los factores que son determinantes para la exportación de ciertos productos, especialmente los relacionados con la agroindustria, identificando así patrones comunes en los diferentes procesos. Al obtener el factor en común se obtiene una variable, que al mejorarla, se optimiza la calidad de los bienes a importar obteniendo mejores calificaciones de los estándares por aprobar.

La información es obtenida de organizaciones mundiales que establecen los estándares de calidad para la agroindustria, y por supuesto, de los países extranjeros para los cuales los productores costarricenses se exportan, por ejemplo Estados Unidos de América o Panamá.

4.2 Evaluación de las alternativas de solución

Se propusieron dos alternativas para la solución, cuya diferencia radica en la manera de obtener la información de los objetos:

1. Utilización de sensores especializados: Color, Posición, entre otros
2. Utilización de cámaras digitales y el procesamiento digital de imágenes.

Se tomó la decisión de llevar a cabo la segunda opción, por razones de flexibilidad de mejoras en el futuro y de innovación en el medio.

Se implementó basándose en la meta final del proyecto, realizándolo de tal manera que fuera compatible con los trabajos realizados por otros estudiantes, de tal manera que al unir todos los esfuerzos se obtenga la meta del proyecto.

4.3 Ejecución de la solución

La misma se llevó a cabo utilizando las herramientas necesarias otorgadas por la institución donde se realizó esta investigación.

Se tuvo la capacidad de adaptarse a los recursos y los objetivos planteados.

Capítulo 5: Descripción de la solución

5.1 Proceso de análisis y acierto de utilizar la visión por computadora como mejor solución

Se plantean dos posibles soluciones, las cuales se describen a continuación.

La primera de ellas está basada en controlar un brazo robot mediante un microprocesador que contenga los datos externos por medio de foto sensores, utilizando las propiedades de la luz para determinar las características visuales de los objetos.

Los inconvenientes de la misma es que implica tener sensores especializados por cada característica del objeto, esto es, un sensor para determinar la posición, otro para establecer el color, otro sensor para medir el tamaño. Lo que hace que esta solución tenga limitaciones para realizar futuras mejoras, o sea, el sistema es una solución cerrada, ya que la implementación de mejoras resulta complicada en este sistema rígido, debido a sus limitaciones de hardware.

La segunda solución se basa en Visión por Computadora y la utilización del brazo robot, la cual utiliza pocos elementos de hardware, simplemente una cámara de bajo costo y una PC, la cual se utiliza una ya existente en el lugar donde se realiza la investigación, disminuyendo así los costos.

Tiene la ventaja de poder implementarse en cualquier lugar sin tener una inversión alta, además de ser una solución abierta, teniendo la capacidad de mejoras, adición de módulos, y actualizaciones.

Otro punto a favor es que la solución requiere de solo un dispositivo para analizar al objeto de manera integral, obteniendo los datos necesarios para establecer todas las características visuales del mismo y su respectiva selección.

Esto sin tomar en cuenta que en versiones futuras se puede establecer un sistema con visión en tres dimensiones sin necesidad de variar los componentes, lo que implica una mejora al sistema, teniendo así una gama de aplicaciones mayores a la presente solución.

5.2. Recursos de Hardware disponibles y sus características relevantes

Este proyecto tiene tres elementos de hardware:

1. Brazo Robot Staubli RX-90: Robot de seis grados de libertad, con un alcance mayor a los 1100 mm, velocidades superiores a los 11m/s, torque máximo de 43 Nm.

2. Cámara Webcam: Sistema de resolución baja, ideal para transmisión de imágenes por el Internet. Resolución de 300 K Píxeles
3. Computadora personal

5.3. Descripción de la solución basada en algoritmos computacionales

La solución de este proyecto está basada, casi en su totalidad, por medio del software.

Esto tiene la ventaja de ser un sistema más flexible en cuanto a cambios futuros. Pero se tiene una limitante, hay que acondicionar la programación a los recursos de hardware que se tienen al alcance, ya que estos no se pueden variar por cuestiones de presupuesto.

Para esta etapa se basa, en su totalidad, en la herramienta de programación y algoritmos matemáticos Matlab, ya que este es lo suficientemente poderoso y amplio en su gama de soluciones para satisfacer las necesidades del problema, además de tener la capacidad de centralizar todos los elementos requeridos en una sola aplicación y obtener compatibilidad con las otras soluciones realizadas por otros colegas en ramas paralelas, como acceso remoto al brazo robot, por ejemplo.

Como se observa en la siguiente figura este proyecto tiene tres elementos básicos:

- Adquisición de la imagen: realizada por medio de una webcam.
- Una computadora personal: que contiene la interfaz del usuario, los algoritmos de recepción de datos de la imagen, el análisis de las imágenes y de los objetos, y el algoritmo para controlar el brazo robot.
- Brazo robot: Realiza el traslado de los objetos desde un punto inicial hasta la ubicación final de selección.

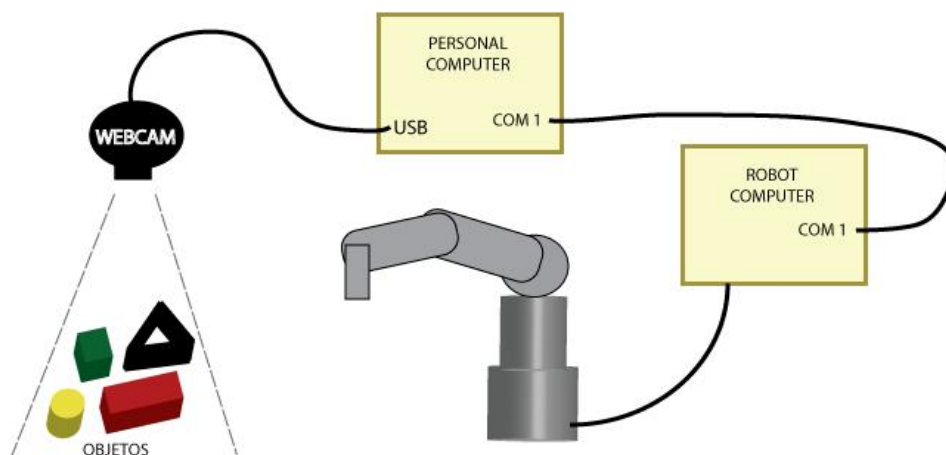


Figura 5.1 Diagrama de elementos generales

El diagrama de solución final destaca los principales conceptos que se utilizan para llegar a la solución general. Y se destaca con un recuadro amarillo lo relacionado con la etapa de visión por computadora.

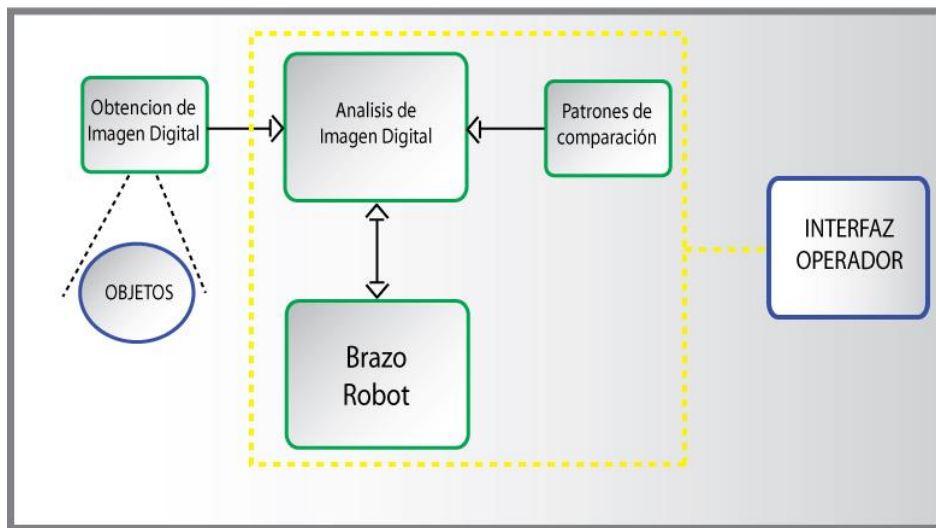


Figura 5.2 Diagrama General de bloques de solución general

El proceso de selección de objetos se describe con los siguientes pasos:

1. El operador selecciona por medio de una interfaz cuales objetos serán ubicados en respectivas posiciones finales, dependiendo de sus características visuales.
2. Se obtiene la imagen digital de los objetos a analizar
3. Se procesa la imagen y se determinan los patrones que identifican a cada característica.
4. Se comparan los patrones identificados con los patrones teóricos.
5. Se identifica la naturaleza de los objetos y las respectivas posiciones finales.
6. Se le transmite la información al brazo Robot y se traslada los objetos.
7. Se vuelve al punto 1 o al punto 2 según lo indique el operador.

Para el operario se realizó una interface. Se le da el control total del proceso, tanto en la selección de objetos, como en la toma de imágenes de muestra, movimiento del brazo robot y velocidad del mismo.

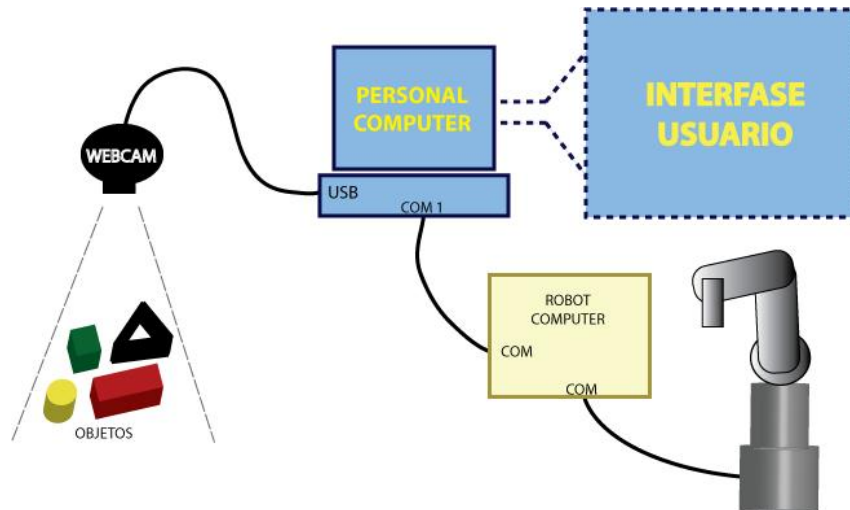


Figura 5.3 Diagrama de Interface de usuario

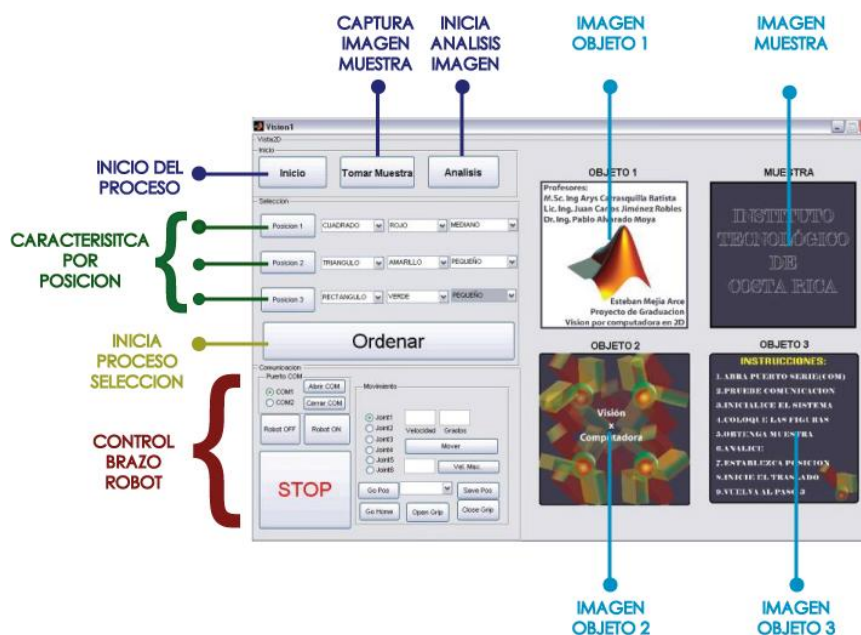


Figura 5.4 Interface de usuario y control de los procesos

Es importante destacar que el operador es el encargado de iniciar el proceso y establecer los datos iniciales. Además tiene completa autoridad para detener el proceso, variar datos de comparación, cambiar la velocidad del brazo robot, entre otros.

Ahora se describe como se definen las características de las posiciones finales, esto nos la posición final de cada objeto basándose en sus características visuales. Para este punto se 3 posiciones con características definidas y otra posición final que es utilizada por defecto, para los casos en que los las características visuales de los objetos no corresponda a ninguna posición final.

Los siguientes datos son los posibles para cada posición de finalización:

1. Posición final:

$$posfinal1 = [forma, tamaño, color] \quad (5.1)$$

$$posfinal2 = [forma, tamaño, color] \quad (5.2)$$

$$posfinal3 = [forma, tamaño, color] \quad (5.3)$$

donde:

$$forma \in \{Triangulo, Cuadrado, Rectangulo, Circulo, nulo\} \quad (5.4)$$

$$tamaño \in \{Grande, Mediano, Pequeño, nulo\} \quad (5.5)$$

$$color \in \{Amarillo, Rojo, Verde, nulo\} \quad (5.6)$$

Además es importante destacar que cada posición debe tener como mínimo un valor distinto de nulo, o puede contar con las tres variables, además que no se puede repetir la misma secuencia para dos posiciones finales diferentes.

Por ejemplo tres casos posibles y correctos son:

$$posfinal1 = [Triangulo, nulo, nulo] \quad (5.7)$$

$$posfinal2 = [Círculo, Grande, nulo] \quad (5.8)$$

$$posfinal3 = [Rectangulo, Pequeño, Rojo] \quad (5.9)$$

Donde las posición 1 se colocarán todos los triángulos, en la posición 2 todos los círculos de tamaño grande, en la posición 3 todos los rectángulos de tamaño pequeño y color rojo, y en la posición de default todos los demás objetos que no tengan estas características citadas anteriormente.

2. Imagen de muestra

La imagen de muestra es una variable que contiene todos los píxeles que representan a los objetos en estudio:

$$ImObj = \begin{bmatrix} X_1, Y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & X_1, Y_{n-1} \\ \cdot & \cdot & & & \cdot \\ \cdot & & \cdot & & \cdot \\ \cdot & & & \cdot & \cdot \\ X_{m-1}, Y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & X_{m-1}, Y_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

Esta es obtenida mediante la manipulación de la webcam agregada al sistema, se utiliza la herramienta de adquisición de imágenes de Matlab:

```

vid = videoinput('winvideo');
vidRes = get(vid, 'VideoResolution');
nBands = get(vid, 'NumberOfBands');
hImage = image( zeros(vidRes(2), vidRes(1), nBands) );
preview(vid, hImage);
frame = getsnapshot(vid);

```

Esta permite determinar el tipo de cámara que se utiliza, además de la resolución, y crear una variable para recibir los datos del video, además se crea la variable que contiene los datos de una toma de muestra, denominada *frame*. A continuación la figura 5.6 detalla la información del video que se obtiene en la interfaz de usuario,

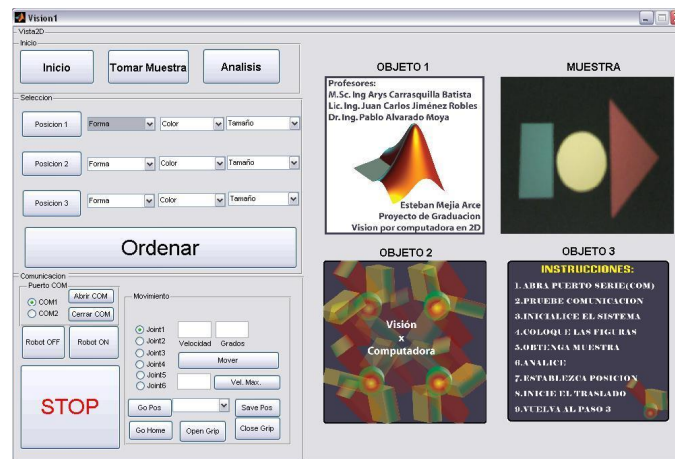


Figura 5.6 Obtención de la imagen de muestra en la interface de usuario

Luego que el operario tiene los datos iniciales puede dar paso al análisis de la imagen de muestra, con el fin de obtener las características visuales de los objetos.

Como se observa en la figura 5.7, se destacan los bloques externos al proceso de análisis de la imagen, estos claramente no pertenecen en sí a esta parte de la solución, aunque efectivamente interactúan entre sí y afectan o se ven afectados por el bloque al cual están interconectados.

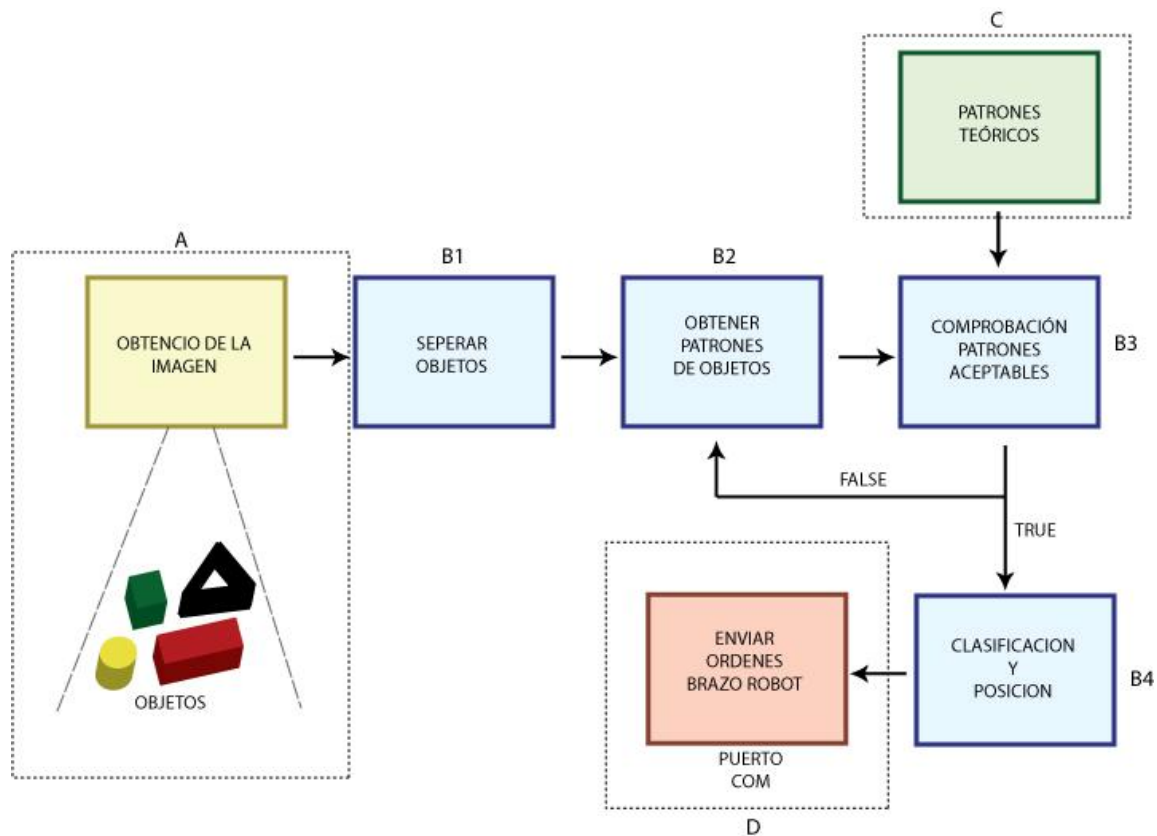


Figura 5.7 Diagrama de bloques de los algoritmos del proceso completo

A continuación se explica cada uno de los bloques del proceso de análisis de imágenes digitales.

Bloque B1:

En seguida de obtener el video, se selecciona la imagen de muestra en formato digital, esta imagen es tratada con diferentes filtros con el fin de disminuir el ruido y mejorar la calidad de la misma ya que la calidad de la cámara utilizada es muy baja, en cuanto a definición, lo cual produce efectos nocivos en el análisis de imágenes digitales, pero al ser mejorada los algoritmos subsiguientes tienden a arrojar mejores resultados.

Para este fin se realizo los siguientes procedimientos, operaciones de vecindad, filtro de orden, el filtro de la mediana y por último la ecualización de las intensidades de luz en la imagen, se explicarán a continuación.

El procedimiento de vecindad consiste en aplicarle a un píxel una transformación que dependa de los píxeles vecinos, como se muestra a continuación:

$$Mascara = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 \end{bmatrix} \quad (5.11)$$

$$imagen = \begin{bmatrix} x-1, y-1 & x-1, y & x-1, y+1 \\ x, y-1 & x, y & x, y+1 \\ x+1, y-1 & x+1, y & x+1, y+1 \end{bmatrix} \quad (5.12)$$

Obteniendo la siguiente relación algebraica:

$$\begin{aligned} q(x, y) = & 1 * p(x - 1, y - 1) + 2 * p(x - 1, y) + 1 * p(x - 1, y + 1) \\ & + 0 * p(x, y - 1) + 0 * p(x, y) + 0 * p(x, y + 1) \\ & + -1 * p(x + 1, y - 1) + -2 * p(x + 1, y) + -1 * p(x + 1, y + 1) \end{aligned} \quad (5.13)$$

El procedimiento de filtro de orden se fundamenta en la estadística de orden, la cual opera en la vecindad de un píxel (conocida también como ventana) y organiza todos los píxeles de la ventana en orden secuencial, según sus niveles de gris $f_1 \leq f_2 \leq f_3 \leq \dots \leq f_{n2}$, donde f_1, f_2, f_3, f_{n2} son valores de Intensidad

El filtro de la mediana, el cual pretende que el valor del píxel transformado obtenga un valor M, tal que la mitad de los valores del conjunto son menores que M y la mitad son mayores que M. El objetivo es eliminar los picos de intensidades que aparezcan aislados en el área de la ventana, como lo es el ruido introducido por la cámara, conocido como ruido de “Sal y Pimienta”.

La ecualización de la intensidad de luz se utiliza para equilibrar la imagen en cuanto a la luminosidad.

Primero se convirtió la imagen a escala de grises con la siguiente ecuación:

$$Y = 0.3 * R + 0.59 * G + 0.11 * B \quad (5.14)$$

Y luego se aplica una ecualización en el histograma de la imagen.

Al tener una imagen tratada se procede luego a separar los objetos, para obtener las diferencias de colores de los objetos se aplicó la conversión al espacio de color CIE L*A*B y el procedimiento del enclaustramiento.

La conversión del espacio de color RGB al espacio de color CIE L*A*B se realizó con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \frac{1}{0.17697} \begin{bmatrix} 0.49 & 0.31 & 0.20 \\ 0.17697 & 0.81240 & 0.01063 \\ 0.0 & 0.01 & 0.99 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5.15)$$

$$a = K_a \left(\frac{X/X_n - Y/Y_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \right) \quad (5.16)$$

$$b = K_b \left(\frac{Y/Y_n - Z/Z_n}{\sqrt{Y/Y_n}} \right) \quad (5.17)$$

$$L = 100 \sqrt{\frac{Y}{Y_n}} \quad (5.18)$$

Luego se identifica píxel por píxel mediante los diferentes colores que presentan, es decir que los píxeles con un valor común pertenecen a un mismo objeto, esto teniendo en cuenta los valores de sus píxeles vecinos. Además se agrega a esta etapa la identificación de los bordes de los mismos objetos, los cuales se identifican por el cambio brusco de una vecindad de píxeles en con cierta orientación semejante. Para ser específico se aplica la primer derivada, cuando esta presenta cambios de signo significa que se presenta en un borde.

Así que el proceso ha identificado el primer color que existe en la imagen crea una máscara, la cual es una réplica de los píxeles que tengan un valor igual o similar al color identificado, al enmascarar la imagen original se crea una tercer imagen que solo contiene los objetos de ese color. Así se realiza sucesivamente con los dos objetos restantes.

Como ejemplo de este algoritmo se tiene la siguiente figura, donde se tiene una imagen compuesta por tres objetos, un rectángulo rojo, un círculo amarillo y un rectángulo verde. Se crea una imagen máscara del objeto que se desea conservar, se aplica la máscara y como resultado se obtiene una imagen que presenta únicamente el objeto deseado, esto basándose en su color.

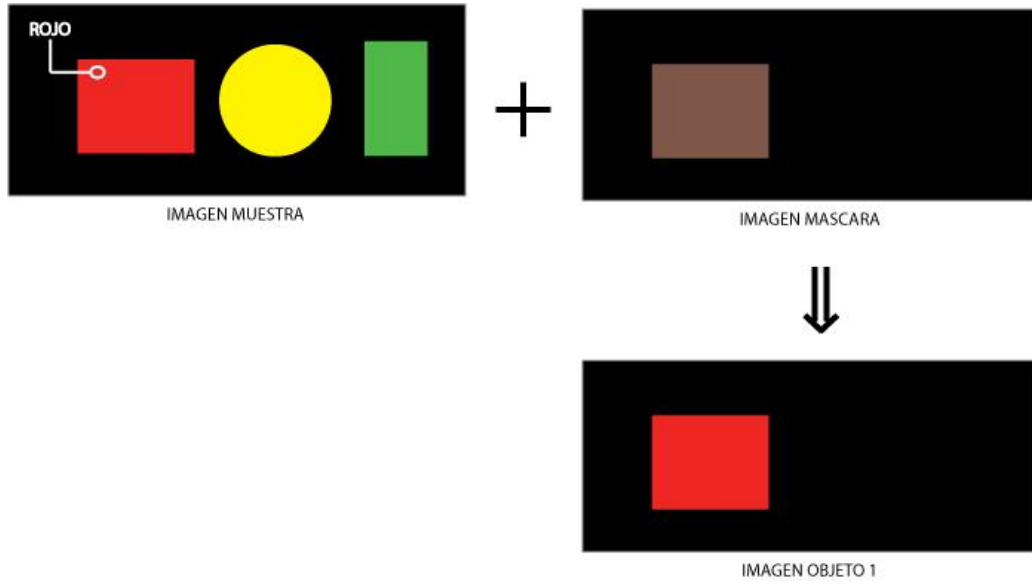


Figura 5.8 Proceso de separación de imágenes

Luego de este módulo se tiene una matriz, en la cual se almacena las tres imágenes separadas que resultan de la división de la imagen de muestra.

Por este método de separación se obtiene una matriz en tres dimensiones, que consta de 1 imágenes por dimensión.

$$Im = [Im1, Im2, Im3] \quad (5.19)$$

donde

$$Im1 = \begin{bmatrix} x_1, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_1, y_{n-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m-1}, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_{m-1}, y_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

$$Im2 = \begin{bmatrix} x_1, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_1, y_{n-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m-1}, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_{m-1}, y_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

$$Im3 = \begin{bmatrix} x_1, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_1, y_{n-1} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ x_{m-1}, y_1 & \cdot & \cdot & \cdot & x_{m-1}, y_{n-1} \end{bmatrix} \quad (5.22)$$

La figura 5.8 ejemplifica como la interfaz de usuario brinda los tres objetos separados por este procedimiento.

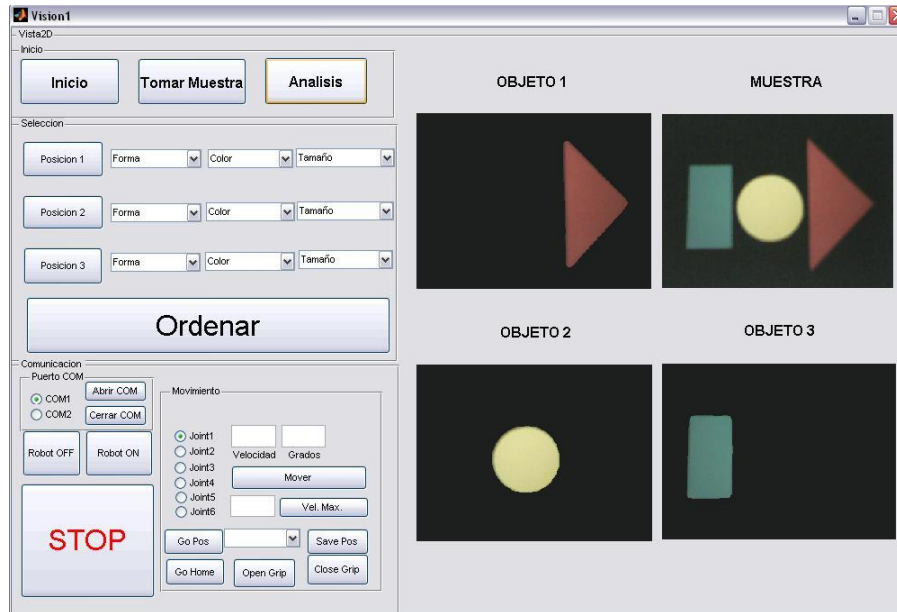


Figura 5.9 Muestra del resultado de separación de imágenes

Bloque B2:

En este proceso se obtienen los patrones que identifican a cada objeto, en sí se basa en cuatro características básicas del objeto:

- Posición, Tamaño, Forma, Color

Se detallan los procesos a continuación.

Posición: La posición del objeto se obtiene luego de tener las imágenes binarias de los objetos:

$$\text{ImBin} = [\text{ImBinObj1} \text{ ImBinObj2} \text{ ImBinObj3}] \quad (5.23)$$

que convierte a un 0 lógico todos los píxeles que pertenecen al fondo (conocido como background) y en un 1 lógico a todos los píxeles que pertenecen al objeto. Se procede a calcular el centroide del objeto basándose en la siguiente definición del centroide de una superficie plana como:

$$\bar{X} = \frac{1}{A} \int x dA \quad (5.24)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{A} \int y dA \quad (5.25)$$

$$\text{Centroide} = [\bar{X}, \bar{Y}]$$

Donde “A” corresponde al área del objeto, “x” y “y” las coordenadas cartesianas y “X” y “Y” las coordenadas cartesianas del centroide

Pues bien se identifican las coordenadas del centro de cada una de las imágenes y se definen como:

$$\text{CentImag1} = [\text{XCentrpos1}, \text{YCentrPos1}] \quad (5.26)$$

$$\text{CentImag2} = [\text{XCentrpos2}, \text{YCentrPos2}] \quad (5.27)$$

$$\text{CentImag3} = [\text{XCentrpos3}, \text{YCentrPos3}] \quad (5.28)$$

$$\text{CenImag} = [\text{CentImag1}, \text{CentImag2}, \text{CentImag3}] \quad (5.29)$$

Y esta manera se obtiene la posición exacta de los objetos dentro de la misma imagen.

Tamaño:

Utilizando las imágenes binarias, descritas en la ecuación 5.15 y representadas por la variable ImBin, se procede al cálculo del tamaño de los objetos de la imagen, la cual se resume en términos de cuantos píxeles con un 1 lógico contiene el objeto representado en ImBinObj1, cuantos píxeles con un 1 lógico contiene el objeto representado en ImBinObj2 y finalmente el mismo proceso para el objeto 3.

Por ende el tamaño de los objetos, es en otros términos, el área de los mismos, ya que se trabaja solo en dos dimensiones, con el vector X y el vector Y para coordenadas cartesianas.

Finalmente se representan los resultados en una variable ImArea:

$$\text{ImAreaObj1} = \sum_{x=1, y=1}^{x=n-1, y=n-1} p_1(x, y) \quad (5.30)$$

$$\text{ImAreaObj2} = \sum_{x=1, y=1}^{x=n-1, y=n-1} p_2(x, y) \quad (5.31)$$

$$\text{ImAreaObj2} = \sum_{x=1, y=1}^{x=n-1, y=n-1} p_3(x, y) \quad (5.32)$$

$$\text{ImArea} = [\text{ImAreaObj1}, \text{ImAreaObj2}, \text{ImAreaOj3}] \quad (5.33)$$

Forma: Los objetos de estudio son figuras geométricas básicas: Triangulo, Cuadrado, Rectángulo y Círculo.

Teniendo una relación entre el cuadrado de mayor tamaño que es contenido dentro de su área y el área del objeto, se puede saber con exactitud en cuál de las cuatro categorías anteriormente mencionadas, se encuentra el objeto.

Se calcula el cuadrado de mayor tamaño, denominado:

- AreaCuad1
- AreaCuad2
- AreaCuad3.

Este cuadrado tiene una limitante en sus dimensiones, debe ser contenido dentro del interior del objeto relacionado. Ya que en este punto ya se tiene calculado el área de los objetos, se procede a dividir el área del objeto por el cuadrado de mayor tamaño que se pueda contener en su interior, se obtiene así un vector de dimensión 1x3:

$$\text{RelFormaObjs} = \left[\frac{\text{AreaObj1}}{\text{AreaCuad1}}, \frac{\text{AreaObj2}}{\text{AreaCuad2}}, \frac{\text{AreaObj3}}{\text{AreaCuad3}} \right] \quad (5.34)$$

Se representa lo descrito por medio de figura 5.9, en la cual se observan las diferentes posibilidades de los tamaños que pueden tener los objetos si el posible cuadrado interno es del mismo tamaño para todos los objetos.

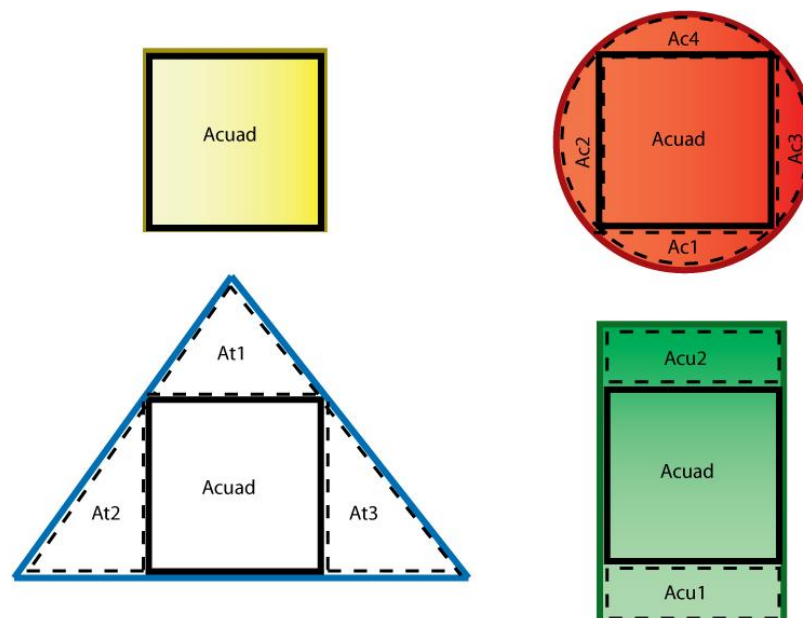


Figura 5.10 Muestra grafica del método para el cálculo de la forma

Ahora, al tener esta relación se mantienen los datos para que sean comparados con los patrones teóricos en una siguiente etapa.

Color:

Inicialmente se convierte la imagen al espacio de color HSV, luego se obtiene de cada objeto una muestra de las tres componentes Hue, Saturation y Value, tal y como se muestra a continuación:

$$Obj1\ Color = [Hue, Sat, Val]; \quad (5.35)$$

$$Obj2\ Color = [Hue, Sat, Val]; \quad (5.36)$$

$$Obj3\ Color = [Hue, Sat, Val]; \quad (5.37)$$

Esto se realiza aplicando las siguientes ecuaciones en la imagen de los objetos,

$$H = \begin{cases} \text{indefinido} & \text{si } MAX = MIN \\ 60^\circ \frac{G - B}{MAX - MIN} + 0^\circ & \text{si } MAX = R \text{ y } G \geq B \\ 60^\circ \frac{G - B}{MAX - MIN} + 360^\circ & \text{si } MAX = R \text{ y } G \leq B \\ 60^\circ \frac{G - B}{MAX - MIN} + 120^\circ & \text{si } MAX = G \\ 60^\circ \frac{G - B}{MAX - MIN} + 240^\circ & \text{si } MAX = B \end{cases} \quad (5.38)$$

$$S = \begin{cases} 0, & \text{si } MAX = 0 \\ 1 - \frac{MIN}{MAX} & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (5.39)$$

$$V = MAX \quad (5.40)$$

Luego se comparan los valores de H para obtener el color respectivo de cada objeto.

Bloque B3:

La comparación de los resultados obtenidos en el bloque B2 es crucial para definir si los mismos están dentro de los parámetros que se esperan. Por ejemplo en este proyecto se tienen 4 diferentes formas de los objetos: cuadrado, rectángulo, círculo y triángulo, no es lógico que los datos apunten a que un objeto es un octágono. Y así sucesivamente con todas las características que se analizan.

Por ende se tiene en el bloque C de la figura 5.3 una pequeña base de datos con márgenes en que se manejan los resultados.

Luego de comparar todos los resultado de las características visuales de cada objeto se tiene una respuesta binaria, Verdadero o Falso, si es Verdadero eso indica que todos los resultados están dentro de los parámetros correctos, si es Falso indica que los resultados no son confiables o que algún proceso no se concluyó con éxito, entonces retorna al bloque anterior (B2) para repetir el proceso y analizar la información de los objetos de manera correcta.

Bloque B4:

En esta parte del proceso se tiene un conocimiento de los valores resultantes del análisis de imágenes para los objetos. Estos se resumen en las siguientes ecuaciones:

$$Obj1Patrones = (Area, Forma, Color, CentroideX, CentroideY); \quad (5.41)$$

$$Obj2Patrones = (Area, Forma, Color, CentroideX, CentroideY); \quad (5.42)$$

$$Obj3Patrones = (Area, Forma, Color, CentroideX, CentroideY); \quad (5.43)$$

También se tiene los datos del operador en las variables:

$$posfinal1 = [forma, tamaño, color] \quad (5.44)$$

$$posfinal2 = [forma, tamaño, color] \quad (5.45)$$

$$posfinal3 = [forma, tamaño, color] \quad (5.46)$$

Se comparan ambos datos y se clasifica las posiciones de los objetos. En caso de que las características de los objetos no entren en las categorías descritas por el operador, se le asignará la posición por defecto.

Se preparan las variables necesarias para ser enviadas al brazo robot y que el mismo realice el movimiento de los objetos hasta su posición final.

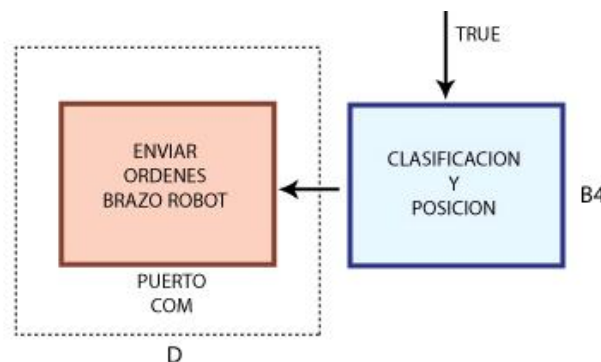


Figura 5.11 Bloques del proceso de comunicación del algoritmo de análisis de imágenes y el brazo robot

Estas variables se transmiten hacia el brazo robot por medio del puerto serie, COM1 o COM2, según lo haya establecido el operador. La secuencia que se envían para que la computadora del brazo robot las interprete es la siguiente:

1. Posición inicial de búsqueda de los objetos
2. Coordenadas del objeto 1, y captura del objeto
3. secuencia de movimientos para posición final para traslación del objetos
4. posición final del objeto 1 y
5. secuencia de movimientos para ubicarse en la posición inicial de búsqueda de objetos
6. Se reitera para los otros objetos restantes.

La programación del brazo robot se realizó mediante la programación textual y la programación implícita, donde la programación textual se realizó la descripción de tareas utilizando un lenguaje de programación, los cuales especifican las acciones que el mismo debe tomar, esto quiere decir que se llevo articulación por articulación hasta las posiciones deseadas y las mismas fueron grabadas en memoria, luego por medio de la programación implícita se entregan ordenes sin necesidad de especificar detalladamente los procedimientos, por ejemplo ordenarle al robot que vaya de la posición 1 a la posición 2, al conocerlas, el sistema asume los movimientos necesarios para llegar a la posición final. Es así como se reordenan los objetos.

Capítulo 6: Detalle de los resultados del proyecto, análisis y recomendaciones para las siguientes etapas

6.1 Resultados experimentales de las características visuales de los objetos de prueba

En este apartado se presentan los principales resultados obtenidos en el desarrollo de este proyecto, entre los más destacados se tiene el comportamiento de los datos de forma, tamaño y color de los objetos, definidos como las características visuales de los mismos.

Adicionalmente se presenta un ejemplo de las imágenes obtenidas en el proceso de separación de objetos, las cuales son 3 binarias y 3 de color, estas permiten obtener toda la información necesaria de los objetos y ser comparados con los datos de referencia.

Las características del valor en el espacio del HSV se obtuvieron midiendo los valores de los píxeles de los objetos y teniendo una cantidad de muestras superior a 20 para determinar un valor definitivo que se tendrá por color.

A continuación se muestran datos recopilados en los objetos de color rojo, los cuales tiene un comportamiento en el espacio HSV oscilantes entre los siguientes datos:

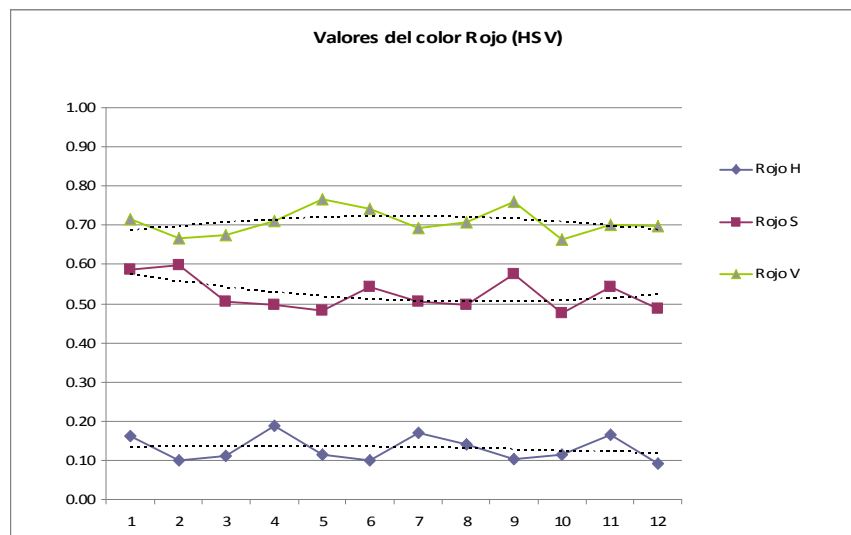


Figura 6.1 Característica del color Rojo de los objetos en el espacio HSV

El mismo patrón fue obtenido para el color verde para el espacio del HSV mostrado en la figura 6.2, con el fin de compararlos con los datos de la figura 6.1 y figura 6.3 y tomar conclusiones del rango de valores de cada color en específico.

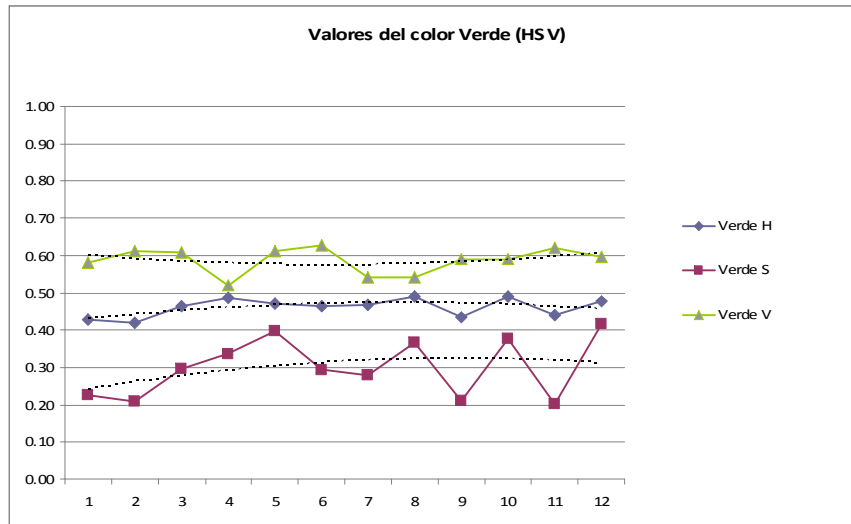


Figura 6.2 Característica del color Verde de los objetos en el espacio HSV

Lo que se destaca de los patrones para el color amarillo es el alto valor de la variable V , ("value" en ingles), característica que facilito la diferenciación entre los diferentes colores.

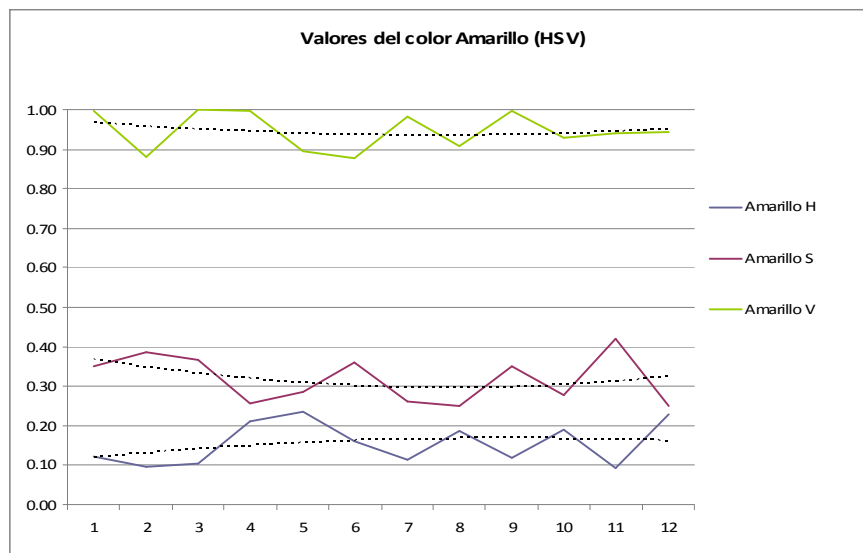


Figura 6.3 Característica del color Amarillo de los objetos en el espacio HSV

El patrón del tamaño se obtuvo con el conteo de píxeles pertenecientes a los objetos y definiendo el valor promedio con una muestra de todos los objetos. Se obtuvieron los datos mostrados en la figura 6.4.

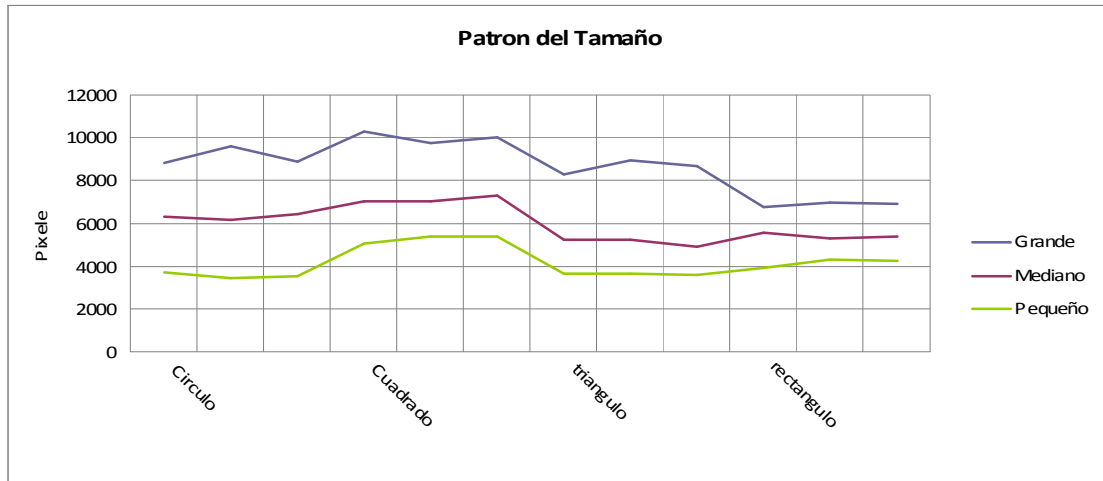


Figura 6.4 Característica del patrón del tamaño de los objetos

Similar a las características del color y el tamaño, la forma necesita valores de referencia, para comparar los resultados obtenidos en el proceso. A continuación tenemos la figura 6.5, que nos muestra los valores del coeficiente del área del objeto entre el valor del área del mayor cuadrado interior posible. Quedando en claro la facilidad de este proceso para diferenciar formas geométricas.

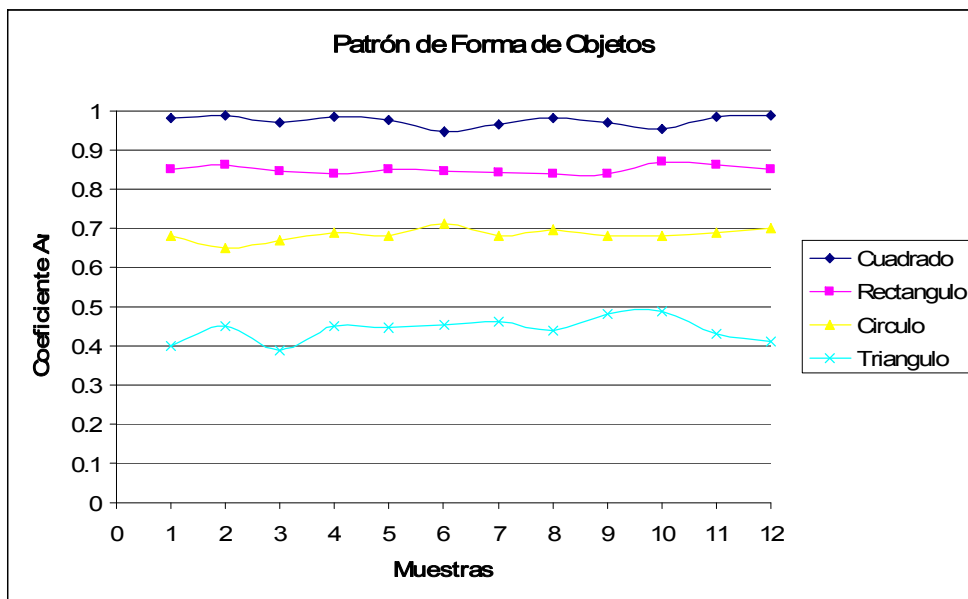


Figura 6.5 Característica del patrón de forma de los objetos

A continuación se presentan una serie de figuras que ejemplifican gráficamente el proceso de análisis de las imágenes. Se inicia con la figura 6.6, la cual contiene los objetos de estudio. De esta información derivará los resultados finales del proceso.

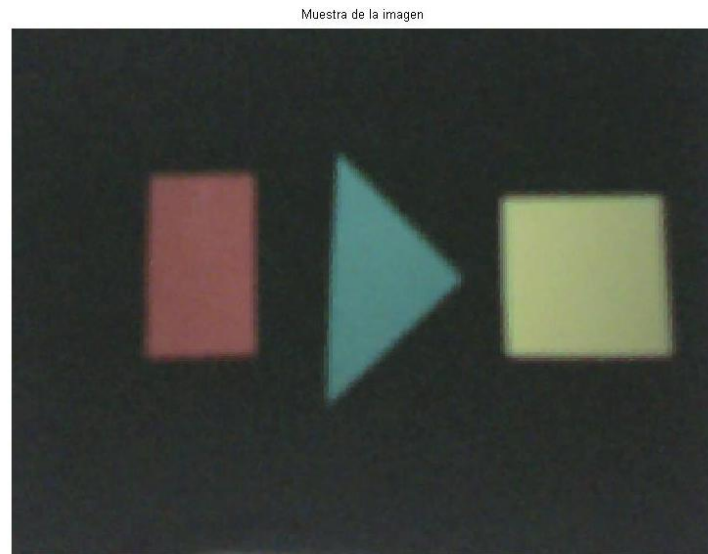


Figura 6.6 Muestra de los objetos, un cuadro fijo del video obtenido

Luego se intenta mejorar la imagen del fenómeno denominado “Salt&Pepper”, el cual es evidente en la figura 6.6. El resultado de esta etapa es eliminar todo el ruido que la información de los píxeles contenga, se muestra en la figura 6.7 el resultado

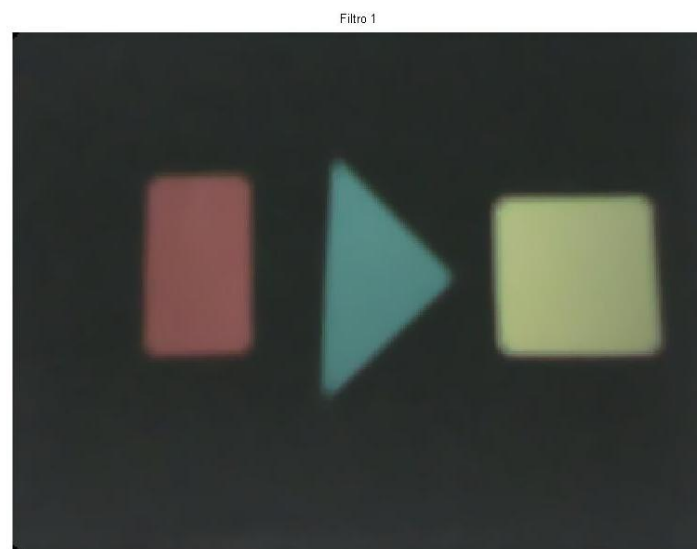


Figura 6.7 Muestra de los objetos después de filtrado el ruido

En el proceso de separación se obtiene una imagen binaria por cada objeto en la imagen, para nuestros efectos esa cantidad será de 3 imágenes binarias por proceso. Estas imágenes de la

figura 6.8 son las que luego se aplican como máscaras para obtener los objetos separados en cada imagen y discriminar el resto de información irrelevante para nuestro estudio.

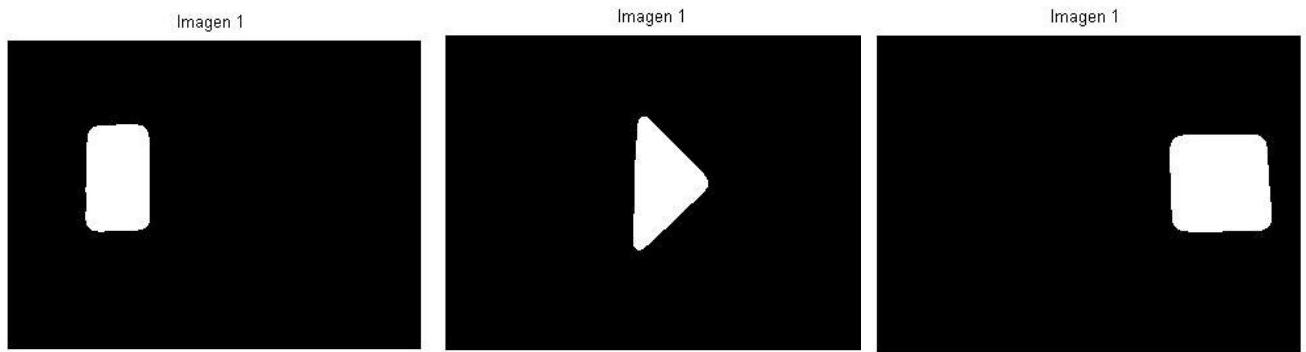


Figura 6.8 Muestra de los objetos separados en imágenes binarias

Luego se observa los resultado de la aplicación de las mascaras en la figura 6.9, de donde resulta los datos necesarios para empezar el procedimiento de analizar cada imagen y obtener sus características.

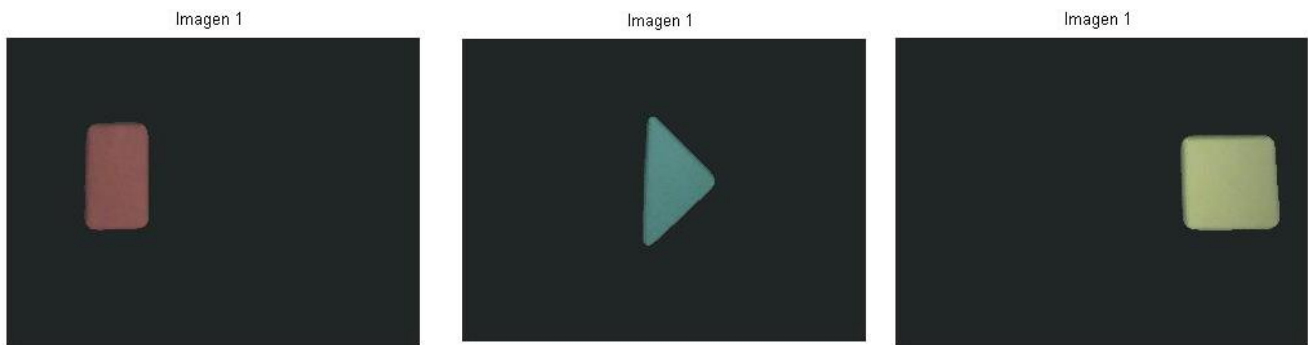


Figura 6.9 Muestra de los objetos separados objeto, imágenes a color

6.2 Análisis de los resultados obtenidos durante la implementación de la solución

La utilización de la herramienta MATLAB y sus bibliotecas hizo que este proyecto integrará cada elemento de la solución de una manera ordenada y compatible, haciendo de una WEBCAM una herramienta de adquisición de datos del entorno. Semejante caso tenemos con el manejo de la información de video digital y la obtención de las características deseadas de los objetos y por último el manejo del puerto serie para la comunicación con el brazo robot.

El procesamiento de la imagen se basa en la aplicación de filtros a la misma, la cual resulta interesante ver el comportamiento de diferentes valores para el filtro, ya que para filtros bajos se iba perdiendo el detalle de los contornos de los objetos y el siguiente proceso de separación de objetos resultaba erróneo, así que se procedió en la búsqueda de los parámetros que mejor se ajustarán a la calidad de imagen resultado de la cámara, para que el resultado fuera preciso para que el siguiente proceso de separación de objetos resultara correcto. La separación de objetos se basó en el principio de que los objetos en la imagen tienen un color diferente y fondo en común oscuro y resultó posible debido a las diferencias entre la fuerza del descriptor de los colores, especialmente entre los componentes primarios, como lo son el rojo y el verde, esto en conjunto con la realización de una binarización de la imagen basándose en los cambios de umbrales que se dan entre los diferentes objetos y el fondo común, y el comportamiento del gradiente y la Laplaciana, o conocidas como primera y segunda derivada para la detección de los bordes. Permitió, el conjunto de estas técnicas brindar 3 imágenes, cada una con los 3 objetos separados respectivamente.

Para la identificación de las características visuales se aplicaron principios básicos de la geometría, imágenes binarias y elementos del espacio de color HSV, esto para identificar la forma, el tamaño y el color respectivamente. Para el área el concepto dividir el área total del objeto entre el cuadrado de mayor tamaño contenido en el objeto resultó de beneficio en la rapidez del cálculo, brindando resultados correctos en un 100% de los casos probados. Para el caso del área se hizo muy simple contar los píxeles de una imagen binaria que estaba en un uno lógico, ya que estos representan la imagen misma y todos los píxeles del fondo están en cero, y tal como el caso anterior la garantía de un dato correcto es del 100%. Para verificar el color de cada objeto se basó en las características del espacio de color HSV, donde se tiene definido se trabaja en valor de la tonalidad, debido a los colores que se utilizan para este proyecto, objetos de color rojo, amarillo y verde, estos presentan diferente tonalidad uno de otro, además de que se determinaron los patrones de la saturación y la luminosidad del color de los objetos. Para verificar este dato se toma una muestra en el centro del objeto y se adquieren estos tres datos por separados, luego se comparan con el patrón de referencia para

determinar qué color es el objeto. Lamentablemente en este caso no se tiene una garantía como en los casos anteriores, ya que el cambio de la luz ambiente varia los datos del objeto en el espacio HSV, esto se probó con luz natural, luz artificial tipo blanca, luz artificial incandescente, luz difuminada, resultando valores diferentes en todos los casos. Por ende la referencia variable para cada caso condujo a la conclusión de que el cambio de niveles y tipos de luz afectaban directamente el comportamiento de los colores. Para minimizar estos problemas se tiene un lazo de realimentación el cual compara resultados y los verifica, si los datos obtenidos están fuera de los resultados esperados el proceso se repite. La característica del color fue la que causó la necesidad de utilizar retroalimentación al reconocimiento de patrones en todos los casos dados, ya que los resultados no estaban dentro de los rangos posibles, por ejemplo de cada 10 veces que se realizaron pruebas, se necesitó corregir y realizar nuevamente el proceso en una ocasión.

La identificación de la posición de los objetos se limitó a dejar un registro que relaciona el número de objeto (Objeto1, Objeto 2, Objeto 3) con la posición final correspondiente, que en este caso se tienen 4 posiciones disponibles.

La comunicación con el brazo robot, realizada por medio de un puerto serie RS-232 resultó conveniente por sus manejo, los paquetes de información contienen 3 datos básicos: primero la posición inicial del objeto, la posición final a la cual será trasladado el objeto y finalmente los movimientos requeridos para llevar al objeto y desplazarlo a la posición final.

Importante destacar que este proyecto es parte de uno mayor y al utilizar MATLAB en el desarrollo de todos los subsistemas se garantiza su funcionamiento en conjunto para dar como resultado un proyecto de acuerdo a la meta planteada.

Capítulo 7: Conclusiones y recomendaciones para actualizaciones y mejoras

7.1 Conclusiones

Se logró cumplir con el desarrollo de un sistema robótico que seleccionará objetos, basándose en sus características visuales, en este caso según el color, la forma y el tamaño de los mismos.

Esto se realizó llevando a cabo cada uno de los objetivos específicos del proyecto, los cuales consistían en realizar un algoritmo computacional que permitiera la captura del video de los objetos, un algoritmo que controlará el movimiento del brazo robot y finalmente una interfaz que un operario pueda utilizar para administrar sobre el proceso de selección.

La utilización de un sistema de visión por computadora en este caso tiene ventaja en las capacidades de análisis de posición y características visuales de los sistemas que utilizan sensores de otra naturaleza, esto debido a que las herramientas de cotejo de imágenes y obtención de datos tienen un potencial en muchos aspectos, y las opciones de incrementar la capacidad de exploración son factibles, por ejemplo la opción de añadir el estudio de las texturas, el seguimiento de objetos móviles, entre otros.

La utilización de una herramienta matemática, y computacional brinda opciones de crecimiento y mejoramiento. Esto extiende los alcances de esta aplicación, al llevarlo a un nivel de uso remoto, generando aplicaciones en ambientes donde resulte dañino para el ser humano. De esta manera existe una nueva aplicación de esta solución.

Las capacidades del brazo robótico, con grados de libertad, sobrepasa las capacidades de movimiento necesarias para este tipo de aplicaciones, lo que resultó beneficioso para el desempeño del mismo en el proyecto.

7.2 Recomendaciones

En la obtención de la imagen se tiene que tomar en cuenta la resolución de la cámara que se utiliza, apenas con 300 K Píxeles de resolución, ideal para transmitir información de video por medio del Internet, no para trabajar en un sistema de visión por computadora tal como lo sería una cámara tipo webcam pero de 1.3 Mega píxeles. Así que se tuvo que adaptar la solución a los elementos con que se contaba, debido al bajo presupuesto que se cuenta para desarrollar este tipo de proyectos académicos. La comunicación entre la cámara y la herramienta de adquisición de datos del programa Matlab se realizó sin problemas y el rango de transmisión de datos se trabajo con 30 fps, pero cabe destacar que el existió en la implementación retraso de la señal con respecto a la imagen real en cuanto a la visualización en el monitor del operario, dato que se tiene que tomar en cuenta para la continuación del desarrollo del mismo. Así la obtención del video de entrada puede mejorar si se utiliza una herramienta con mejor definición, es decir una video cámara con más cantidad de píxeles por toma, proporcionándole al programa mejores paquetes de datos, en consecuencia la etapa de mejoramiento de la imagen digital se vería reducida y los resultados de los siguientes bloques pueden generarse con mayor rapidez.

Se propone mejorar los componentes de Hardware a utilizar, específicamente la cámara y los puertos USB, así como los anchos de banda asignados para los mismos puertos, generando mayor velocidad para transmitir video.



Además se recomienda realizar un robot, con características inferiores al Robot Staubli RX-90, pero que puedan cumplir con los movimientos mínimos, esto con el fin de tener una solución más accesible para nuestro mercado y logremos así cumplir con la meta de este proyecto.

Bibliografía

- [1] Barrientos, A; Peñin, L; Balaguer, C y Aracil, R. Fundamentos de robótica. Madrid: McGraw-Hill, 1997
- [2] Fu. K. S; González. R.C y Lee. C. S. G. Robótica: control, detección, visión e inteligencia. México : McGraw Hill, 1997
- [3] **Renteria. A y Rivas. M.** Robotica Industrial. Fundamentos Y Aplicaciones. Madrid : McGraw-Hill, 1997
- [4] Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electrónica. [en línea] <<http://www.ie.itcr.ac.cr/palvarado/publicaciones.html>>P. Alvarado. RWTH-Aachen, Alemania, 2004 [Consulta 20 Abril 2006]
- [5] Instituto tecnológico de Costa Rica [en línea] <www.itcr.ac.cr> [Consulta 15 Marzo 2006]
- [6] Instituto Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Electrónica. Manual Brazo Robot Staubli RX-90.
- [7] Laboratorio Nacional de Informática Avanzada. A.C (1999)[en línea] <<http://www.lania.mx/biblioteca/newsletters/1999-primavera-verano/aplicaciones.html>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [8] Laboratorio Nacional de Informática Avanzada. A.C (1999)[en línea] <<http://www.lania.mx/biblioteca/newsletters/1999-primavera-verano/aplicaciones.html>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [9] Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid [en línea] <http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap1IntroVA.pdf>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [10] Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid [en línea] <<http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/InfoRobotica>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [11] Una introducción a la Robótica [en línea] <<http://www.ilustrados.com/publicaciones/EplVFuFpZVkCZBNuBt.php>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [12] Enciclopedia Libre, Wikipedia [en línea] <http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_visual><<http://es.wikipedia.org/wiki/Color>><http://es.wikipedia.org/wiki/Visi%C3%B3n_artificial> [Consulta 14 enero 2007]
- [13] Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid [en línea]

- <<http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap3ProcesadoImagv1.pdf>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [14] Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid [en línea]
<<http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap4ProcesadoV1.pdf>>
[Consulta 14 Marzo 2006]
- [15] Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid [en línea]
<<http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap5VASegmentacion.pdf>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [16] Electrónica, Automática e Informática Industrial. Universidad Politécnica de Madrid [en línea]
<<http://www.elai.upm.es/spain/Asignaturas/Robotica/ApuntesVA/cap6VAProcMorf.pdf>>
[Consulta 14 Marzo 2006]
- [17] Universidad Católica de Chile, Escuela de Ingeniería, Departamento de Ciencia de la Computación. [en línea] < <http://www2.ing.puc.cl/~dmery/vision/visionc.pdf>> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [18] The MathWorks. User's Guide. Version 5. Image Processing Toolbox
- [19] Ministerio de Comercio Exterior COMEX [en línea]
<http://www.comex.go.cr/estadisticas/exportaciones/Exportaciones%20Estados%20Unidos%202006.pdf> [Consulta 14 Marzo 2006]
- [20] Enciclopedia Libre, Wikipedia [en línea] <http://en.wikipedia.org/wiki/Robot_control>
[Consulta 20 Marzo 2006]

Apéndices

A.1 Glosario

Píxel: (Del ingl. *pixel*, y esteacrón. de *píx*, pl. coloq. de *picture*, retrato, imagen, y *element*, elemento). 1. m. *Inform.* Superficie homogénea más pequeña de las que componen una imagen, que se define por su brillo y color.

Imagen: (Del lat. *imāgo*, -*inis*). 1. f. *Ópt.* Reproducción de la figura de un objeto por la combinación de los rayos de luz que proceden de él.

Inteligencia artificial: 1. f. *Inform.* Desarrollo y utilización de ordenadores con los que se intenta reproducir los procesos de la inteligencia humana.

Puerto serial: 1.f. *Tecn.* Conexión por medio de la cual se envían datos a través de un solo conducto. Por ejemplo, el mouse se conecta a un puerto serial. Las computadoras tienen dos puertos seriales: COM1 y COM2.

USB (Universal Serial Bus): 1.f. *Tecn.* Interface de tipo plug & play entre una computadora y ciertos dispositivos, por ejemplo, teclados, teléfonos, escáneres e impresoras.

Microprocesador: 1.f. *Tecn.* Es el chip más importante de una computadora. Su velocidad se mide en MHz.

MPEG: 1.f. *Tecn.* El Moving Pictures Expert Group desarrolla estándares para video digital y compresión de audio. Tiene el auspicio de la ISO.

Resolución: 1.f. *Tecn.* Número máximo de píxeles que se ven en una pantalla.

HSV: 1.f. *Tecn.* Modelo del espacio de color basado en la Tonalidad, Saturación y Valor de los colores.

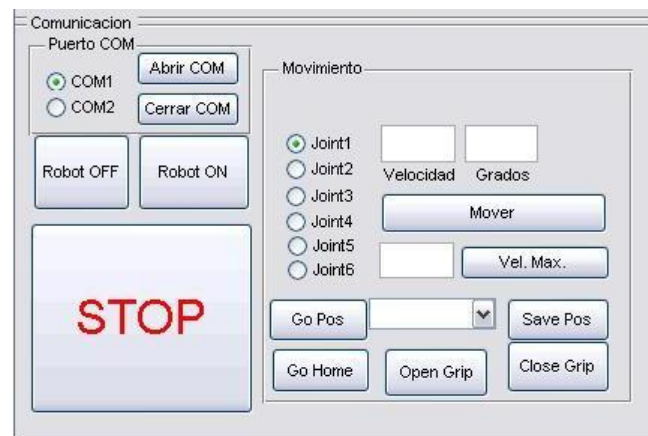
RGB: 1.f. *Tecn.* Modelo del espacio de color basado síntesis aditiva del rojo, verde y el azul.

TCP-IP: 1.f. *Tecn.* Protocolo utilizado para la transmisión de paquetes de datos por medio de una red de computadoras, en incluso por el Internet.

A.2 Manual de usuario

A. El primer procedimiento que se debe realizar es iniciar la comunicación con el brazo robot por medio del puerto serie y establecer las características de comunicación.

1. Elegir el numero de puerto a utilizar
2. Abrir el puerto COM
3. Encender el brazo robot
4. Establecer la velocidad máxima de movimiento de las extremidades del brazo
5. Realizar una prueba moviendo una de las extremidades del mismo.
6. El botón de STOP detiene el brazo robot, utilizado en situaciones de emergencia



B. Establecer las posiciones iniciales de los objetos y las finales, grabándolas en la memoria del brazo robot:

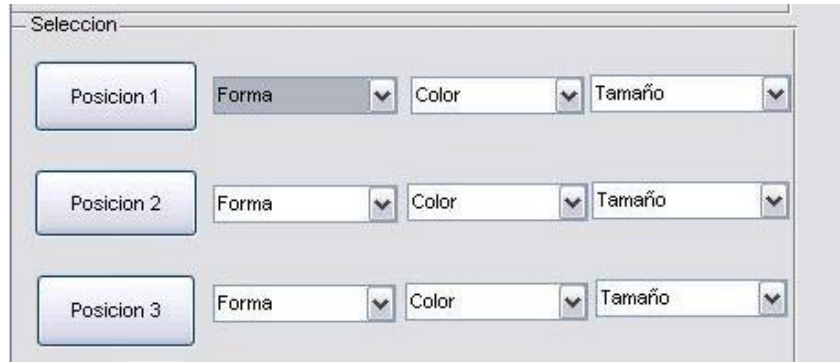
- a. Dar clic al botón de **INICIO** para establecer las posiciones del robot

C. Iniciar el proceso de captura de imágenes dando clic en el botón de inicio de muestra

D. Establecer las características visuales de los objetos por posición, se debe tener mínimo una característica para las posiciones, las cuales deben de ser de la misma categoría, por ejemplo se debe definir para todas las posiciones un dato para el color, esta puede repetirse, si solo si, existe una segunda característica que haga la diferencia entre las posiciones

Por ejemplo:

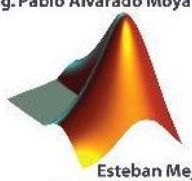
- Posición 1: Cuadrados
- Posición 2: Cuadrados y Rojos
- Posición 3: Rectángulos, Amarillos y pequeños



E. Obtener la muestra de los objetos

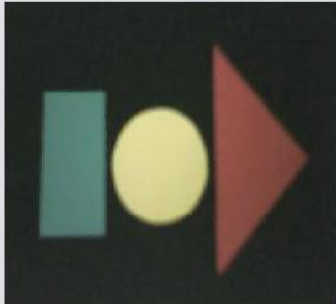
OBJETO 1

Profesores:
M.Sc. Ing Arys Carrasquilla Batista
Lic. Ing. Juan Carlos Jiménez Robles
Dr. Ing. Pablo Alvarado Moya

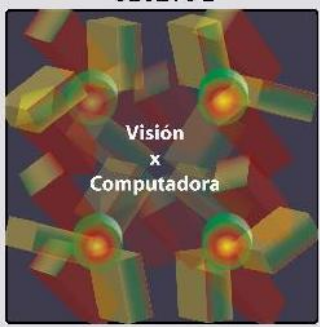


Esteban Mejia Arce
Proyecto de Graduación
Visión por computadora en 2D

MUESTRA



OBJETO 2




Visión
x
Computadora

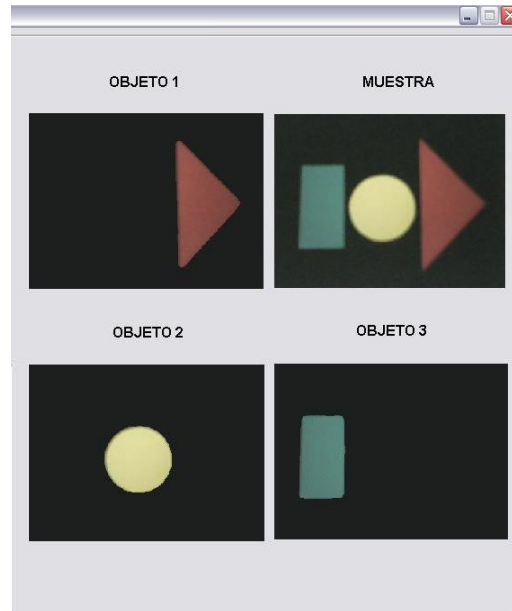
OBJETO 3

INSTRUCCIONES:

1. ABRA PUERTO SERIE (COM)
2. PRUEBE COMUNICACION
3. INICIALECE EL SISTEMA
4. COLOQUE LAS FIGURAS
5. OBTENGA MUESTRA
6. ANALICE
7. ESTABLEZCA POSICION
8. INICIE EL TRASLADO
9. VUELVA AL PASO 3



F. Iniciar el análisis de la muestra



- G. Y para finalizar el ciclo, ordenar los objetos en las posiciones establecidas dando clic en el botón con el mismo nombre.
- H. Volver a tomar la imagen de muestra. Si las posiciones tienen las mismas características omitir dicho paso.